

報告 ダム仮排水路閉塞工のプレキャスト型枠への高性能軽量コンクリートの適用

峰村 修¹・丸山 久一²・坂田 昇³・柳井 修司⁴

要旨：ダム本体工事中に川を転流させていた仮排水路の閉塞工事は、ダム工事で重要な工種であると共に非洪水期間の限られた工期の中で確実な施工を要求される。このため、万一の出水による危険性を低減させるため工程を少しでも短縮することが求められている。そこで、高性能軽量骨材を使用したコンクリートにより製作したプレキャスト型枠をこの閉塞工事に使用した。その結果、工期の短縮と施工の合理化を図れることが分った。

キーワード： 軽量コンクリート, プレキャスト型枠, ダム, 閉塞工

1. はじめに

ダム本体の工事にあたって流れていた川を仮排水路トンネルに転流させることが一般的に行われる。このため、ダム本体の工事が完了し試験湛水を実施するためには、仮排水路トンネルから元の川に流れを切替え（二次転流）た後に仮排水路トンネル¹⁾とダムの止水軸（カーテングラウチングライン）が交差する付近を閉塞する作業（閉塞工）が必要となる。この閉塞部分は、ダムにより貯留される水と直接に接するため最も水圧が作用する部分であるから、確実に充填すると共に周辺岩盤からの漏水を防止するための止水（グラウチング）作業を行う必要がある。また、閉塞工の施工期間は、二次転流を

容易に行うため川の流れが少なく、かつ洪水の発生する可能性が低い非洪水期間に限定される。しかしながら、非洪水期間中でも洪水は発生する可能性はある。したがって、施工中に万一の出水による水没の危険性を最小限にするためには、閉塞工の工程を一日でも短縮することは工事の安全対策上、重要な意味を持つことになる。通常行われる在来工法では現場にてバラ型枠を組立てて工事を実施しているが、型枠工事に時間を要している。このため、閉塞工の施工工程を検討した結果、閉塞部分に高性能軽量骨材を用いたコンクリート（以下、高性能軽量コンクリート）によるプレキャスト型枠を使用することで工程の大幅な短縮と施工の合理化を

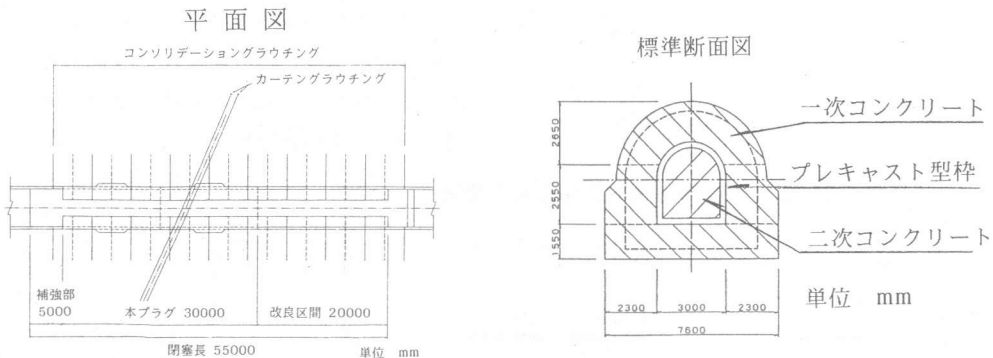


図-1 閉塞部分構造図

- *1 新潟県三面川開発事務所 ダム課 主査 (正会員)
- *2 長岡技術科学大学教授 環境建設系 Ph.D. (正会員)
- *3 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 主管研究員 工博 (正会員)
- *4 鹿島技術研究所 土木技術研究部 材料・施工グループ 研究員 工修 (正会員)

表-1 閉塞工工程表

日数	10	20	30	40	50	60	70	80	90
掘削 岩盤清掃 型枠設置	————		————	———					
コンクリート(一次)			———	———					
“ (二次)								———	———
冷却 継目工 コンソリデーション カーテン					————	————	————	————	———

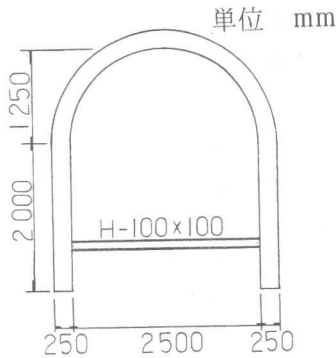


図-2 プレキャスト型枠構造図

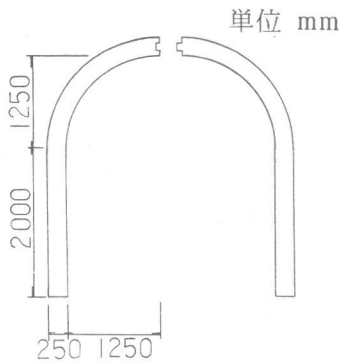


図-3 プレキャスト型枠構造図

表-2 プレキャスト型枠設置工程表

日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	11	11	11	11	11	11	20	21	22	23	24	
軽量 コンクリート 打込み	1リフト		2リフト		3リフト																	
型枠設置 (10m/day)	————																					
普通コンクリート 打込み	1リフト		ト		2リフト		3リフト															
型枠設置 (3m/day)	————																					

図れると判断し実施工を行ったので、その結果をここに報告する。

2. プレキャスト型枠適応の経緯

閉塞部分の構造は、図-1に示すように基礎処理前に施工する一次コンクリート、一次コンクリートの冷却後、通廊部分から周辺岩盤にファン状に施工する基礎処理（コンソリデーショングラウチング、カーテングラウチング）と基礎処理後に施工する二次コンクリートに分れている。プレキャスト型枠は、この一次コンクリートを施工し基礎処理のための通廊を形成するために使用した。ここで、プレキャスト型枠は、ダム本体の通廊に用いた事例²⁾はあるが閉塞工に用いたのは初めてである。閉塞工事の全体工程は、表-1に示すように着手から3ヶ月ほどを要する。プレキャスト型枠は、図-2に示すような馬蹄形をしており、内空はグラウチングで行うボーリング作業においてロッドの継足しが可能な最低限の寸法としてダム工事では一般的な内空断面である。プレキャスト型枠は、形状を単純化し、かつ重量をより軽減するためアーチカルバートの底版部分を省略した形をしており、底版の代りに脱型後底部にH型鋼をストラットとして取付けることで一次コンクリートの打込み圧力に対応させる設計とした。その重量は、トンネル内の施工のためトンネル内で使用可能な吊込み用のクレーン能力から決定され、トンネル軸方向当り1mを定尺とすることで1ピース当

りの重量は3.3tとした。この型枠を普通コンクリートで製作すると1ピース当りの重量が5tを越えるため図-3に示すような中央で二分割した構造にならざるを得ない。この形状の場合、トンネル内で

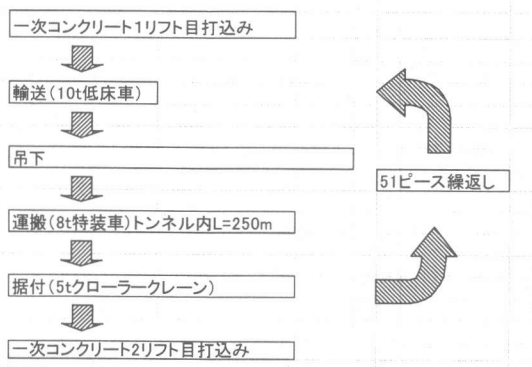


図-4 プレキャスト型枠設置フロー図

表-3 使用材料

使用材料	記号	適用
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度 $3.15\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積 3240c
細骨材	S	新潟県三面川産川砂 表礫
粗骨材	G	独立空隙型人工軽量粗骨材(流紋岩系真珠) 密度 $0.85\text{kg}/\text{L}$ 吸水率4.08% FM=6.44
混和剤	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸塩系

表-4 室内配合試験配合表

配合名	設計 基準強度 (N/mm^2)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C	s/a	単位質量(kg/m^3)				
						水	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤* SP
A	2	12±2.5	5±1.5	40	48	155	8	8	8	6
B				35	48	155	8	815	3	6
C				30	48	155	517	785	2	0.80

*:P×%

表-5 室内配合試験結果

配合名	スランブ (cm)	空気量		単位容積 質量 (kg/m^3)	ブリーディング		コンクリ ート温度 ($^{\circ}\text{C}$)
		重量法 (%)	圧力法 (%)		率 (%)	量 (cm^3/cm^3)	
A	13.5	5.9	6.3	1706	0.0	0.0	21.0
B	13.5	5.1	5.3	1745	0.0	0.0	21.0
C	11.0	5.8	5.5	1764	0.0	0.0	21.5

2つのブロックを接合させる必要があるが、トンネル内作業のため使用できるクレーン是一台に限られる。したがって、クレーンにより左右いずれかのブロックを所定の位置に設置し、残るブロックを設置させるまでの間、先行設置したブロックを仮受した後に接合させる工程が工程増える。高性能軽量コンクリートと普通コンクリートのプレキャスト型枠設置工程表を表-2に示す。プレキャスト型枠設置フロー図を図-4に示す。

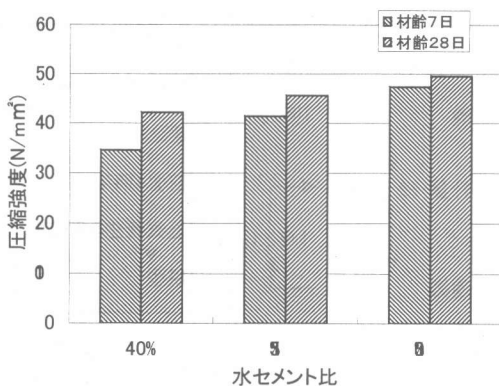


図-5 室内試験圧縮強度

3. 材料とコンクリート配合

製作に先立ち配合試験を実施し示方配合を選定した。使用した材料を表-3に示す。高性能軽量コンクリートは、軽量1種として粗骨材のみに高性能軽量骨材を用いた。高性能軽量骨材

は、独立気泡を持つ軽量骨材³⁾であり、密度は絶乾で $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率は24時間吸水で4%のものを使用した。配合設計に当り目標単位容積質量は、前述のとおりプレキャスト型枠1ピースの重量を3.3t以内にする必要から、コンクリート単位容積質量を $1.75\text{t}/\text{m}^3$ として水セメント比を30%,35%,40%の3水準の配合を選定した。選定した配合を表-4に示す。空気量は、AE助剤量を調節することで対応した。配合試験におけるフレッシュ性状の試験結果を表-5に示す。圧縮強度試験結果を図-5に示す。圧縮強度試験は材齢7日および材齢28日で実施した。試験結果では、いずれの配合でも目標とする圧縮強度 $21\text{N}/\text{mm}^2$ を上回り、材齢28日強度では $40\text{N}/\text{mm}^2 \sim 50\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮強度を得ることができた。今回の試験では、軽量骨材の分離が懸念されたことから、安全を見て比較的水セメント比の小さな配合について検討した。試験の結果、いず

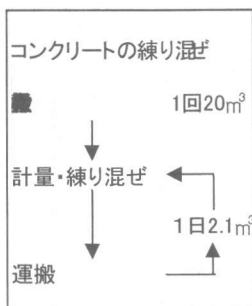


図-6 コンクリート
練混ぜフロー

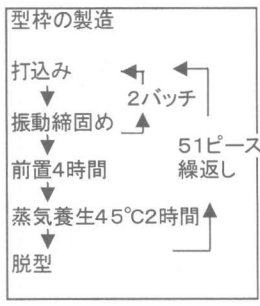


図-7 プレキャスト
型枠製造フロー

表-6 普通コンクリート配合表

Gmax (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位重 (kg/m³)				
					水 C	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤* SP
1	8±2.5	5.5±1.5	47	48	159	3	846	919	0.90

*:C×%

使用材料	記号	適用
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.15g/cm³ 比表面積 3300c
細骨材	S	新潟県三面川産川砂 表糞
粗骨材	G	新潟県三面川産川砂利 表糞
混和剤	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸塩系

この配合でも目視において材料分離はほとんどなかったため、その中で単位容積質量の理論値が最も小さい水セメント比 40%の配合を示す配合とした。

4. 製造・運搬・据付

コンクリートの練混ぜ工程を図-6に示す。まず、レディーミクストコンクリート工場では高性能軽量コンクリートを練り混ぜ、そのコンクリートをアジテータ車で二次製品製造工場まで運搬し、プレキャスト型枠を製造した。練混ぜにあたって、今回使用した高性能軽量骨材は、骨材の形状が球形をしており、今回練混ぜを実施したレディーミクストコンクリート工場のベルトコンベアの角度が18°50′と急であったため、骨材ストックヤードからベルトコンベアにてバッチャープラント上に荷揚することが困難であった。このため、高性能軽量骨材を500kgのフレコンに梱包して納入し、これをバッチ

ャープラントに設置したチューンブロックにて荷揚を行いバッチャープラント上部の容量20m³の貯蔵ビンに収納した。高性能軽量骨材はプレウェティングが不要なためこのような貯蔵方法が可能であった。プレキャスト型枠の製造速度が1日当たり一個のため毎日2.1m³の高性能軽量コンクリートを練り混ぜ、そのコンクリートを約10km離れた二次製品工場まで運搬を行った。練混ぜ手順としては、まずモルタルのみで60秒練り混ぜた後に、軽量骨材を投入して30秒練り混ぜた。また、練り混ぜた後にミキサー内に高性能軽量骨材が僅かに残留する状況が確認されたため、次に練

り混ぜるコンクリートに高性能軽量骨材が混入しないように練り混ぜ後直ちにバッチャープラントを洗浄した。

製造のフローを図-7に示す。二次製品工場では、プレキャスト型枠の型枠を大型振動台(振動数475Hz 遠心力22.6kN 6台)上に設置し、振動をかけながら2バッチに分けて高性能軽量コンクリートを2カ所の投入口から打ち込んだ。打込み時間は約4分間であった。振動をかけることでプレキャスト型枠の上面に高性能軽量骨材の浮き上がりが確認され、振動時間を変化させたが骨材の浮上がり状況に変化は見られなかった。事前に作製した実物大試験体を硬化後切断した段面を写真-1に示す。これによると、骨材の偏りは見られず一様に分布していることが確認された。このことから表面部の高性能軽量骨材の浮き上がりは、極表面に限られるものと推察される。そのため、プレキャスト型枠表面の仕上げを容易に行うために表面の2cmを普通コンクリートにて製作した。表面に使用した普通コンクリートの配合を表-6に使用材料を表-7に示す。蒸気養生は、1時間当たり15℃ずつの上昇で45℃を2時間保持させた。今回の製造工場では、普通ポルトランドセメントを使用した製品の場合、65℃で蒸気養生して

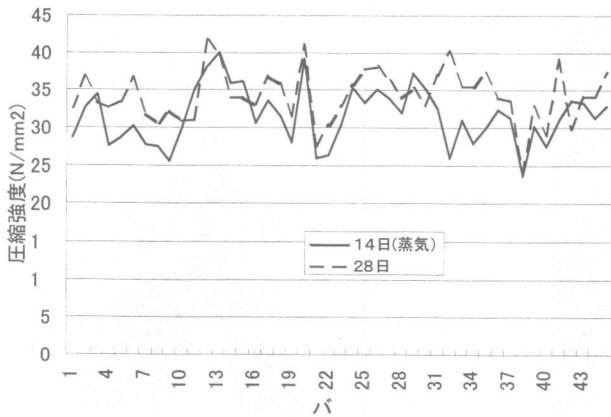


図-8 圧縮強度試験結果

表-8 圧縮強度と変動係数

種別	呼び強度	圧縮強度 (N/mm ²)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)	養生方法
普通コンクリー	21N	30.5	1.76	5.8	28日標準
高性能	21N	31.5	4.07	12.9	14日蒸気
軽量	21N	34.6	3.03	8.7	28日標準

表-9 高性能軽量骨材の品質とコンクリート圧縮強度

	ロット数	1	2	3	4	5
	絶乾密度(kg/Q)		0.85	0.87	0.87	0.85
表乾密度(kg/Q)		0.88	0.91	0.91	0.88	0.92
24h吸水率(%)		3.00	4.60	4.60	3.20	4.10
単位量		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
実績率(%)		62.4	61.4	61.4	62.8	61.0
圧壊強度(N/mm ²)		89	102	88	95	83
平均圧縮強度(N/mm ²)		34.0	34.2	35	34.5	37.4
変動		11.4	11.5	7.5	11.1	7.8

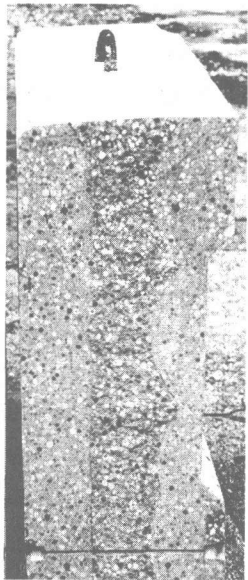


写真-1 供試体切断状況

製造時の圧縮強度の変化を図-8に示す。圧縮強度は、供試体を

プレキャスト型枠と同じ養生条件(45℃で2時間)で養生した14日強度と標準養生での28日強度をグラフ化したものである。圧縮強度は日々毎にばらついていることが分かる。同じレディーミクストコンクリート工場で製造した呼び強度とスランプが同じ普通コンクリートの同期間における圧縮強度の平均値等を表-8に示す。この結果から、標準養生において普通コンクリートに比較して高性能軽量コンクリートは圧縮強度のばらつきが大きい。その理由として、高性能軽量骨材の品質のばらつきおよび1日当りの少量の練混ぜによることが考えられた。今回使用した各ロット毎の高性能軽量骨材の品質の変化とコンクリートの平均圧縮強度を表-9に示す。高性能軽量骨材の圧壊強度のロット間の差は、最大20%程度であった。一方、コンクリートの平均圧縮強度のロット間の差は、10%程度であり圧壊強度に比べて小さい。また、圧壊強度と圧縮強度の間には相関は見られない。このことから、今回の高性能軽量コンクリートのばらつきが大きかった理由としては、製造が日当たり2.1m³の1バッチと少なかったため、表面水率の補正誤差が大きくなったためと考えられる。しかしながら、高性能軽量コンクリートのばらつきは実用上問題とならない程度のばらつきであった。また、14日強度のばらつきが大きな原因は養生期間が短いためと推定される。一方、強度面では、設計強度21N/mm²を大きく上回る結果となったが、これは、モルタル分の粘性を大きくさせ高性能軽量骨材の分離を防止する配合としたため単位セメント量が388kg/m³と多く、かつ水セメント比を40%としたためである。

製造工場から現場までプレキャスト型枠を約35km運搬した。運搬には、10t積みトレーラー



写真-2 プレキャスト型枠

を使用して、1ピース当り3.3tの重量のため1台当り3個ずつ積載して運搬できた。据付は、前述のとおりトンネル内作業のため大型のクレーンを使用することができず、4.9t吊りクローラークレーンを使用して実施した。据付は、工程表どおり進み一日当り10ピースのプレキャスト型枠を設置することができ、全51ピースを5日間で据付けて完了した。現場に搬入したプレキャスト型枠を写真-2、据付完了状況を写真-3に示す。

5. 経済性の評価

経済性を評価するため、普通コンクリートで製造した場合のプレキャスト型枠と、今回使用した高性能軽量コンクリートによるプレキャスト型枠について、材料費、運搬および据付工事費用を試算した。試算結果を表-10に示す。表では、普通コンクリートのトータルコストを100%とした場合について比較した。試算では、高性能軽量コンクリートの材料費が高く普通コンクリートの約3倍に達しているが、運搬および据付費用が安く、合計では2.6%の割高であり、経済性ではほぼ同等といえる。しかしながら、工期の短縮が可能となるため、プレキャスト

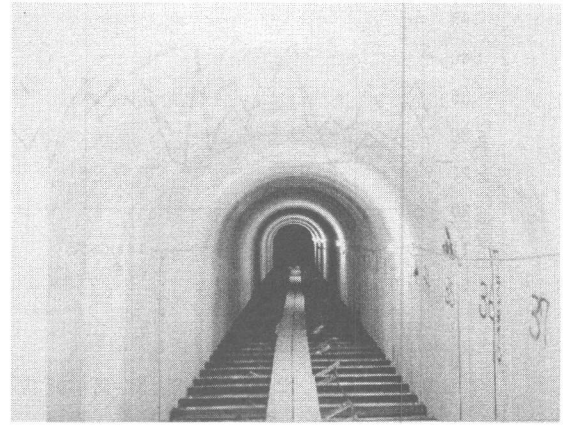


写真-3 プレキャスト型枠設置完了

表-10 経済性の比較

	軽量	普通コンクリー
材料費	74	23.4%
運搬費	18.1%	36.3%
据付費	12.1%	40.3%
合計	102.6%	100.0%

ト型枠への高性能軽量コンクリートの適用は十分利点があると考えられる。

6. まとめ

今回、ダム工事における堤外仮排水路の閉塞工事について、プレキャスト型枠の利用を行うことで工程の短縮と施工の合理化を図り閉塞工事の安全性の向上を目指した結果、ほぼ目的を達することができた。高性能軽量骨材がより多くの土木工事に利用できればコストダウンも可能になり利用範囲も拡大すると考える。

参考文献

- (財)ダム技術センター編：多目的ダムの建設，(財)全国建設研修センター，第5巻 pp.25～77，1987
- 鷹取正顕，田中靖，五十嵐昇，竜澤宏昌：通廊へのプレキャスト型枠の採用について，ダム技術，Vol.95，pp.46～56，1994.8
- 岡本享久，早野博幸，柴田辰正：超軽量コンクリート，コンクリート工学，Vol.36，No.1，pp.48～52，1998.1